

过热蒸汽干燥系统及其开发方向^①

连政国^② 曹崇文

(机械工程学院)

摘要 依据国外文献,介绍几种典型的过热蒸汽干燥系统,分析了它们的组成特点,即过热蒸汽干燥系统应有废气再循环利用、物料预热和防止空气渗入等附属部分,采用锅炉不是必备条件。指出对于过热蒸汽干燥系统应从废气利用途径、真空干燥和组合加热等方向进行开发。

关键词 物料干燥;干燥系统;过热蒸汽

中图分类号 S226.6

Development of Superheated Steam Drying Equipment

Lian Zhengguo Cao Chongwen

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract A new drying technology using direct contact of superheated steam with the wet material was developed in recent years. Many typical superheated steam drying technologies such as: fluidized bed, tube-type, self-seal, direct-indirect heating and pneumatic conveying drying system were reviewed. The characteristics of these drying systems were analyzed. The reuse of exhaust steam, pre-heating and anti-airinfiltration should be included in the system. In some cases, boiler is not necessary. The further development of superheated steam drying will be the reuse of exhaust steam, using of vacuum and combined heating system.

Key words material drying; drying system; superheated steam

过热蒸汽干燥是利用过热蒸汽直接与物料接触而去除水分的一种干燥方式^[1]。与传统的热风干燥相比,其热效率高^[2~4],单位热耗低^[3,4],被干燥物料的品质较好^[4],同时过热蒸汽还具有灭菌消毒作用^[1,5],所以近年来已被美国、加拿大、德国、日本和英国等发达国家用于烘干木材、煤炭、纸张、蚕茧和食品以及城市废弃物等多种物料^[4]。

80年代以来,过热蒸汽干燥机的发展经历了从批式干燥到连续式干燥阶段,现今主要应用的是连续式过热蒸汽干燥机,目前至少有10个干燥机制造厂在世界范围内提供适宜商业用的一系列过热蒸汽干燥系统和设备^[6]。

收稿日期:1995-12-29

①高校博士点基金资助项目

②连政国,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)50信箱,100083

在我国,虽然有间接蒸汽干燥机,并得到一定应用,但对直接过热蒸汽干燥机的研究尚属空白。为使这一新技术得到应用,现将国外几种典型的过热蒸汽干燥系统的组成、特点和发展趋势作如下综述。

1 过热蒸汽干燥系统

1.1 流化床干燥系统

流化床干燥由于传热传质系数大和干燥时间短,在热风干燥中应用广泛。丹麦的 NIRO 公司成功地开发了一种压力过热蒸汽干燥系统^[7]。该设备除风机外,所有其他部件都是固定不动的;离心风机位于机器的底部,将过热蒸汽通过 16 个气室鼓向上方,螺旋式喂料器将湿物料喂送到第 1 个气室(共 16 个),物料沿顺时针方向由第 1 室运动到第 16 室,然后由排料螺旋从 16 室的底部排出机外。

在干燥室的上方设有轻杂物分离系统。带有杂物的蒸汽通过固定式叶片在圆筒内产生涡流,轻杂物沿圆筒壁运动,经过一个缝隙被送到离心分离器内,再由射流器被送至第 16 气室中。高压蒸汽经过入口流入蒸汽换热器,被压力为 1.6 MPa 的蒸汽加热到 200 °C,然后通过离心风机送向上方;多余的湿蒸汽则通过废气出口排出机外,作为它用。

图 1 为一个气室的结构示意图。

在气室下方分布板稍靠上的部位有一个三角块,可使气室的水平截面减小,因而蒸汽的流速增大,较大的物料也可以被吹动。另外它还可以使床内产生旋流(如图中箭头所示),旋流的压力和流速均较大,足以使大的物料通过开口 b 流到下一个气室,这样,可以提高机器的生产能力并避免在壳上结露。

气室的上部为锥形。蒸汽流经板 e 的中间,小而轻的物料被吹到气室上部后,由于截面增大,风速减小,下落到斜板上而下滑,由于导轨 d 的作用,物料下滑到口 c 后进入相邻的气室。从气室排出的蒸汽经排尘后,通过叶片进入机器中心的过热管,在该处蒸汽再被加热而成为过热蒸汽,从换热器底部的风机吹出,又被送到气室下部。从物料中蒸发出的水分变成水蒸气加入到循环的过热蒸汽中,因而有一定量的蒸汽被排出,机器顶部的排气管用于排出多余的蒸汽。该机的主要特点是节能,对环境无污染,干燥的物料品质好。

1.2 管式干燥系统

瑞典 Chalmers 大学发明了一种管式过热蒸汽干燥机,用于干燥水分含量高的纸浆、糟渣和其他农业物料^[8]。它是一个闭路系统,由输送管道、热交换器、旋风分离器、风机和传动系统组成。湿物料直接与过热的蒸汽接触,过热蒸汽的压力为 200~600 kPa,过热蒸汽也是物料输送的载体。干燥物料所需的热由过热蒸汽通过换热器传给物料。干物料和蒸汽由旋风分离器进行分离,多余的蒸汽不断被排出机外。如果物料的初始含水率为 50%~55%,干后物料含水率为 10%~15%,则每 t 物料要排出 1 t 蒸汽,这部分蒸汽在压力为 200~600 kPa 时可以用来作干燥介质,或经过压

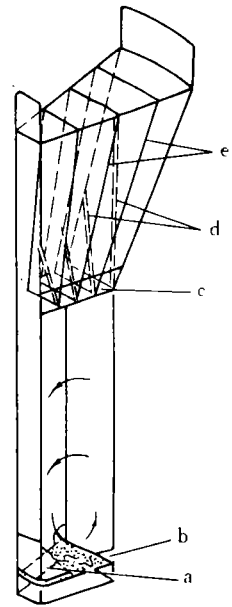


图 1 流化床过热蒸汽干燥气室结构示意图

压缩机压缩以后作为加热蒸汽的热源。

试验证明,这种形式的过热蒸汽干燥系统的干燥速率比热风干燥大2~3倍,物料在干燥机内的停留时间一般为10~30s。其主要特点是:喂料和卸料采用回转阀,结构简单;把直接过热蒸汽干燥与间接过热蒸汽干燥结合起来;采用旋风分离器,从而解决了产品与蒸汽的分离问题。

1.3 直接-间接干燥系统

美国 THERMO 电力公司开发了一种直接-间接过热蒸汽干燥系统^[9]。过热蒸汽在风机的推动下沿换热器和干燥机进行循环,在干燥室内,湿物料的水分被蒸发并被过热蒸汽带走。从干燥室排出的蒸汽,一部分排出机外,其量等于物料蒸发的水分量,通过冷凝将这部分蒸汽的潜热回收;另一部分作为循环工作蒸汽。该系统采用天然气作为热源对蒸汽进行加热过热,同时采用锅炉来提供压力蒸汽。采用间接加热与直接加热相结合的工作方式,夹层里的蒸汽对物料进行预热,冷凝水补充到锅炉中。可以采用使蒸汽加压的办法来改善传热性能,缩小设备的尺寸。这种系统在有锅炉的地方操作十分方便。

1.4 连续式自密封干燥系统

传统的热风干燥废气中的潜热不能有效回收的一个主要原因是大量的空气把蒸发的水蒸气带走^[10],而过热蒸汽干燥是在无空气的条件下进行的。由于常压连续式过热蒸汽干燥涉及密封问题,很明显采用机械式密封是不符合实际的。英国学者 Stubbing 开发了一种常压过热蒸汽连续干燥机,成功地解决了密封问题^[11]。干燥系统由干燥室、热源、循环风机、加热器、料斗、压缩机和管道系统组成。物料由带式输送机输送到干燥室,风机将蒸汽送至加热器加热,对物料进行干燥。由于蒸汽与空气的密度不同,蒸汽保持在干燥室上方,空气则位于下方,形成了自然密封。这种干燥机无需锅炉来提供过热蒸汽。

1.5 输送式干燥系统

加拿大麦吉尔大学 Meunier 等人采用过热蒸汽作为干燥介质,把过热蒸汽干燥用于气流干燥^[12]。其主要特点有2个:一是干燥所需的能源由蒸汽等离子吹管供给,这种蒸汽吹管可提供温度较高的过热蒸汽;二是它不需要锅炉作为外部设备,干燥机本身就是蒸汽发生器。此外,在产品干燥后续段也采用旋风分离器来解决产品与蒸汽的分离问题,并使废气能循环利用。干燥机在启动时需要喷水进去,达到稳定状态后有足够的蒸汽在机器内部循环,进行干燥作业。一部分蒸汽引出作为它用,大部分蒸汽由风机推动循环,少量蒸汽经过压缩以后供给蒸汽等离子吹管使用。

2 过热蒸汽干燥系统的组成特点

从原理上讲,任何热风干燥系统均可变成过热蒸汽干燥系统,但由于过热蒸汽干燥的一些特殊要求,热风干燥很难直接变成过热蒸汽干燥。从以上分析可知,过热蒸汽干燥系统具有如下组成特点。

1)一般的过热蒸汽干燥系统应有废气回收和再利用部分。过热蒸汽干燥过程中如果废气未被充分利用,这种干燥方法的节能优势是不存在的^[6]。过热蒸汽干燥排气特点是低比焓,有灰尘^[1]。目前,过热蒸汽干燥工艺中废气的利用途径有以下几种:经净化或未净化,用作工厂的

其他工作蒸汽;一部分在热交换器中加热参与再循环,过量部分用作加工蒸汽;进行压缩再循环和再加热,一部分废气达到干燥机的进口条件;经压缩或再加热后部分循环,过量部分去预热喂入的湿料。

2)过热蒸汽干燥的介质是过热蒸汽,其来源可以是锅炉蒸汽,也可不是锅炉蒸汽,过热蒸汽干燥系统采用锅炉不是必要条件。

3)过热蒸汽干燥工作时温度超过 100℃,当喂入常温条件下的物料时易产生冷凝,增加干燥时间,因此,过热蒸汽干燥系统还包括物料的预热部分。这种预热可以用本身产生的蒸汽为热源,也可使用别的热源。

4)为了利用废气,有时废气需净化,净化的要求取决于用途。对于循环部分也需进行气固分离,目前仍主要采用旋风分离器进行分离。

5)对于在常压下的连续过热蒸汽干燥机还应有密封部分,以防止空气渗入。

3 过热蒸汽干燥系统的开发方向

过热蒸汽干燥技术只是近几年才得到实际应用,无论在理论上还是在实践上都很不成熟,由于缺乏良好的设备,其商业应用受到限制,需进行开发。

1)开发过热蒸汽干燥系统的废气利用途径。有的过热蒸汽干燥系统中,过热蒸汽在重新利用前要通过热压机或机械式压缩机,它们十分复杂,影响操作费用和资金偿还,因此过热蒸汽的再利用问题仍需研究解决。

2)研究过热蒸汽真空干燥系统。过热蒸汽干燥中,由于温度至少超过水分对应压力下的沸点温度,因此常压下这对于一些热敏性物料是不适宜的。国外有的学者已通过试验证明,真空条件下的过热蒸汽干燥,不仅使水的沸点降低,对热敏性物料的适应性增强,而且干燥后产品的质量得到改善,试验得出的干燥时间、临界含水率和干燥速度,都比热风干燥好。这说明过热蒸汽真空干燥是非常有用的一种加工工艺^[13],但至今没有开发出成套设备。

3)采用间接与直接过热蒸汽干燥相结合的方式。不少学者的研究表明,这二者互相补充过热蒸汽干燥效果较好,最明显的特点是可以减小干燥机的单位体积。因此,应开发这种过热蒸汽系统。

4)研究在过热蒸汽干燥系统内利用其他热源的问题。例如在干燥机内利用电加热器加热或辐射热,学者研究表明,采用这种方法可以降低过热蒸汽干燥逆转点的温度值,扩大对干燥物料的适应性^[1]。

参 考 文 献

- 1 Mujumdar A S. Handbook of Industrial Drying. New York:Marcel Dekker,1995. 1071~1086
- 2 Faber E F,Heydenrych M D. A techno-economic comparison of air and steam drying. Drying '85, 1985. 588~594
- 3 Mujumdar A S. Drying of Solid. New York:International Science Publisher,1992. 10~12
- 4 Numura T,Hyodo T. Behavior of inversion point temperature and new applications of superheated vapor drying. Drying '85,1985. 517~522

- 5 Costin M H, Gauvin W H. Spray drying in superheated steam. *Drying* '80, 1980. 320~326
- 6 Mujumdar A S. Techno-economic assessment of potential superheated steam drying application in Canada. McGill University, Reports 9138U888
- 7 Jensen A S. Pressurized drying in a fluid bed with steam. *Drying* '92, 1992. 1593~1604
- 8 Svensson C, Potter E. Industrial applications for new steam drying process in forest and agricultural industry. *Drying* '85, 1985. 415~419
- 9 Francis A D, Bella F E. The application of a direct contact, superheated steam atmosphere sludge dryer and packaged cogeneration system with an anaerobic digester system. *drying* '94, 1994. 567~580
- 10 Anon. All steamed up. *The Chemical Engineer*, 1993, 25(3):16
- 11 Stubbing T J. Airless drying. *Drying* '94, 1994. 559~565
- 12 Meunier J, Munz R J. Flash drying with superheated system — A mathematical model. *Drying* '86, 1986. 580~586
- 13 Shibata H, Mada J, Shinohara H. Steam drying of sintered glass bead spheres under vacuum. *Industry Engi Chemi Research*, 1988, 12(27):2385~2387

欢迎订阅《山东农业大学学报》

《山东农业大学学报》为农业综合性学术刊物,公开发行,主要登载农学、林学、园艺、植保、土化、畜牧、兽医、食品科学、农业工程、农经及生物技术等方面的研究成果、学术论文、研究简报、实验技术、文献综述等。读者对象为农林大专院校师生、农业科技人员。本刊是国家科技论文统计分析用刊和CSTA首批入选期刊,国际著名的SCI,ISR,CA,PJ和联合国粮农组织的Agrindex均将本刊列为一次性文献信息源。美国国家农业图书馆等20多家国外农业文献或研究机构均收藏本刊。国内《中国生物学文摘》等20余种检索期刊均收入本刊。凡本刊发表的研究成果及论文,能很快传播并及时为国内外同行专家引用。1992年,本刊被国家科委、中宣部、新闻出版署评为全国优秀科技期刊;1995年,获农业部全国高等农业院校优秀学报一等奖。本刊为季刊,每册定价5.00元,全年20.00元。

欲订者请将款汇至山东农业大学学报编辑部。开户银行:中国农业银行泰安市泰山区支行,帐号:5318710003976;邮编:271018。